

Gallium Nitride 기판의 Mechanical Polishing시 다이아몬드 입자 크기에 따른 표면 Morphology의 변화

김경준*, 정진석*, 장학진*, 신현민*, 정해도#

Influence of the Diamond Abrasive Size during Mechanical Polishing Process on the Surface Morphology of Gallium Nitride Substrate

Kyoung Jun Kim*, Jin Suk Jeong*, Hak Jin Jang*, Hyun Min Shin* and Hae Do Jeong#

ABSTRACT

Freestanding hydride vapor phase epitaxy grown GaN(Gallium Nitride) substrates subjected to various polishing methods were characterized for their surface and subsurface conditions. Although CMP(Chemical Mechanical Polishing) is one of the best approaches for reducing scratches and subsurface damages, the removal rate of Ga-polar surface in CMP is insignificant(0.1~0.3 μ m/hr) as compared with that of N-polar surface. Therefore, conventional MP(Mechanical Polishing) is commonly used in the GaN substrate fabrication process.

MP of (0001) surface of GaN has been demonstrated using diamond slurries with different abrasive sizes. Diamond abrasives of size ranging from 30nm to 100nm were dispersed in ethylene glycol solutions and mineral oil solutions, respectively. Significant change in the surface roughness (R_a 0.15nm) and scratch-free surface were obtained by diamond slurry of 30nm in mean abrasive size dispersed in mineral oil solutions. However, MP process introduced subsurface damages confirmed by TEM (Transmission Electronic Microscope) and PL(Photo-Luminescence) analysis.

Key Words : GaN (Gallium Nitride, 질화갈륨), Mechanical Polishing (MP, 기계적 연마), Scratch (스크래치), SSD (Sub-Surface Damage, 가공결함), Diamond Slurry (다이아몬드 슬러리)

1. 서론

III-V족 질화물중의 하나인 GaN 소자는 wide bandgap 특성에 의한 단파장 광전자 소자와 높은 항복전계 특성에 따른 고출력, 고주파 전자소자로의 응용에 대한 연구가 가속화 되고 있으며 고화질 DVD 나 차세대 광 저장 매체의 핵심소자인 청색 LD(Laser Diode)의 기본구성 요소로서 주목

을 받고 있는 실정이다.^{1,2} 이러한 소자를 제조하는데 있어서 소자의 수명을 결정하는 결함밀도를 조절할 수 있는 방법중의 하나로써 동일한 재질을 갖는 기판의 사용이 요구되고 있으며, 사파이어 대비 높은 열전도도 특성으로 인하여 고전류 인가가 필요한 차세대 조명용 LED(Light Emitting Diode)의 기판으로 주목 받고 있다.^{3,4}

이러한 GaN 기판은 HVPE (Hydride Vapor Phase

접수일: 2008년 3월 19일; 게재승인일: 2008년 6월 20일
* 삼성코닝정밀유리(Samsung Corning Precision Glass Co., LTD)
교신저자: 부산대학교 기계공학부
E-mail: hdjeong@pusan.ac.kr Tel. (051) 510-2463

Epitaxy)방식에 의한 성장법이 현존하는 가장 유력한 방식으로 알려져 있으며 이와 관련된 문헌은 현재 많이 발표 되고 있으나 GaN 기판의 가공에 관한 연구는 매우 부족한 상황이며, 국내에서는 전무한 실정이다.

GaN 의 wafering 공정은 주로 grinding(연삭), lapping(래핑), polishing(연마)으로 구성 된다. 이 중 polishing 공정은 최종 제품의 표면 품질을 결정하는 중요한 공정이다. 많은 polishing 공정 중, 높은 표면품질을 얻을 수 있는 CMP(Chemical Mechanical Polishing) 공정을 GaN 에 적용하고자 많은 시도가 이루어 지고 있다. 그러나, Ga-polar surface 의 높은 화학적 안정성⁵ 때문에 N-polar surface 에 비하여 0.1 ~ 0.3 $\mu\text{m/hr}$ 의 매우 낮은 RR (Removal Rate)을 보이는 단점이 있으며, 선택적 etching 효과에 따른 micro-pit 의 발생되는 문제점을 가지고 있다.⁶

이러한 문제점을 해결할 수 있는 기존의 MP (Mechanical Polishing)공정을 고품질화하는 노력이 시급한 실정이다.

그러나, MP 공정의 가장 큰 문제점은 높은 연마 속도의 장점을 가지고 있으나 이에 따른 스크래치와 같은 표면 결함이 문제점으로 대두되고 있다.

본 논문에서는 연마 슬러리를 구성하는 다이아몬드 입자크기, base solution 의 변화에 따른 스크래치특성을 연구하였으며, 이에 따른 SSD(Sub-Surface Damage, 가공결함)의 존재를 TEM (Transmission Electronic Microscope) 과 PL (Photo-Luminescence) 분석을 통하여 확인하였다.

2. 다이아몬드 슬러리에 따른 스크래치특성

2.1 실험 Setup

GaN 기판의 MP 공정은 고순도 tin 을 plate 로 하는 단면연마기를 사용하였으며, 압력은 3.5psi, 회전속도는 platen 10rpm, head 8rpm 의 조건으로 직경 2 inch GaN 기판을 연마하였다. 회전속도가 빨라지고 압력이 낮아질 경우 기판과 plate 간의 미세한 진동이 스크래치 생성에 민감한 영향을 주었기 때문에 낮은 회전속도 범위에서 실험을 진행하였다.

또한, 평균입경이 30, 80, 100 nm인 다이아몬드 입자를 각각 수성, 유성의 2 종류 용매를 적용하여 슬러리를 제조하였다. 수성의 경우 에틸렌글리콜과 초순수를 기반으로 하고 분산제를 포함한 첨가제가 함유된 슬러리며, 유성의 경우 mineral oil 을 기

반으로 하고 유화제, 분산제 등의 첨가제가 함유된 슬러리를 사용하였다.

스크래치 검사는 MP 공정 후 광학현미경 ($\times 100$)으로 시행하였으며, surface morphology 와 surface roughness 는 3D Profiler (Wyko HD2000, Veeco)를 사용하여 $212 \times 161 \mu\text{m}$ 의 영역을 측정하였다.

본 연구에 사용된 샘플은 2 인치 면적당 80 개의 스크래치수준으로 동일하게 연마된 상태로 준비하여 진행하였으며, 전 단계의 깊은 스크래치로 인한 영향을 배제하기 위하여 실험 전 스크래치 검사를 통하여 깊은 스크래치가 없음을 확인한 후 실험을 실시하였다.

2.2 다이아몬드 슬러리에 따른 스크래치결과

다이아몬드 슬러리는 다이아몬드 입자의 침강이 발생되므로 실험 전에 초음파로 3 시간 동안 분산시킨 후 실험을 실시 하였다.

결과는 Fig. 1 에서 알 수 있듯이 입자크기가 줄어들수록 스크래치수가 감소되는 것을 확인할 수 있으며, 수성의 경우에 비하여 유성의 경우에서 더욱 스크래치수가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

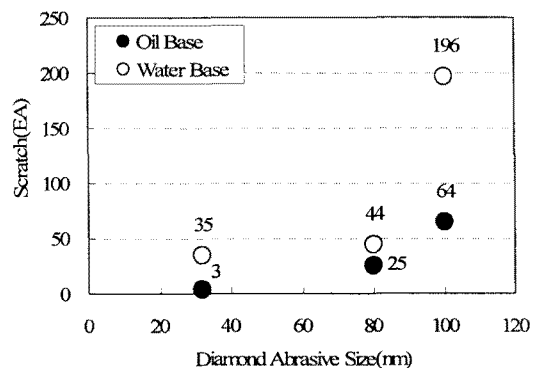


Fig. 1 Variation of the number of scratches with the abrasive size of the abrasive in different types of base solutions

스크래치에 영향을 주는 것은 입자크기 역시도 중요하겠으나 거대입자($1 \mu\text{m}$ 이상의 입자)의 존재가 매우 중요한 항목이다. 이러한 사유로, 슬러리 제조 및 polishing 공정에서는 필터 등을 적용하여 거대입자를 제거하는 노력을 하고 있다.⁷

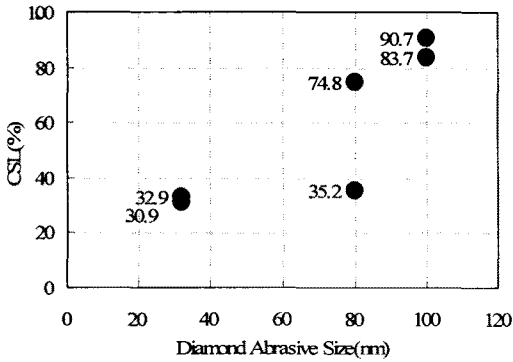


Fig. 2 CSL as a function of abrasive size of the diamond slurry

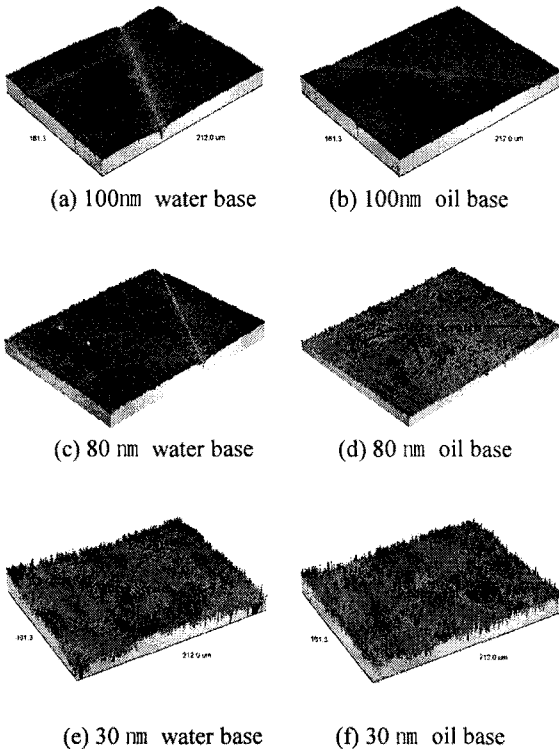


Fig. 3 Morphology of surfaces polished using abrasives of different sizes in water-based solution and oil-based solution

본 연구에서도 이러한 특성을 확인하기 위하여 CSL(Centrifugal Sedimentation Loss, 원심침강손실법) 방법을 활용하여 거대입자 함량을 살펴 보았으며 그 결과는 Fig. 2 와 같다. 그 결과, 80 nm 의 경우

거대입자가 불규칙적으로 분포하고 있으며, 이는 스크래치특성이 매우 불안정할 수 있는 가능성을 높여준다. Tin plate 는 일반적인 polishing pad 에 비하여 탄성률이 낮아 이러한 거대입자의 영향이 더욱 증가할 것으로 판단된다.

Fig. 3 은 각각의 슬러리 조건에 따른 연마 후 표면의 morphology 를 보여주고 있다. 이는 육안검사결과와 유사한 결과로 유성의 경우 수성에 비하여 스크래치가 적으며 얇고 미세한 경향을 보이고 있다. Fig. 3(a)~(c)에서는 깊은 스크래치가 관찰되며, (d)와 (e)에서는 마이크로 스크래치가 관찰되고 있으나, (f)에서는 스크래치가 관찰되지 않고 있다. 그러나, micro pit 이 존재하고 있는 것으로 볼 때 여전히 스크래치를 유발할 수 있는 불안인자는 내포하고 있음을 확인할 수 있다.

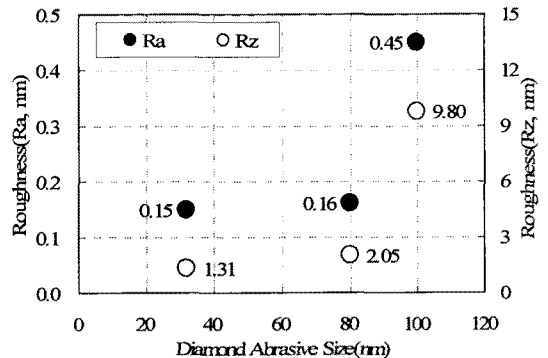


Fig. 4 Surface roughness as a function of the abrasive size (at mineral oil base slurry)

유성 슬러리에 대한 surface roughness 를 Fig. 4 에 나타내었다. R_a (Arithmetical Mean Roughness ; 산술평균 거칠기), R_z (Ten Point Height Roughness ; 10 점 평균 거칠기)의 경우에 대하여 살펴보았으며, 두 가지 모두 80~100 nm에서 급격하게 roughness 가 악화되고 있음을 보여주며 이는 앞의 스크래치 특성과 연관성을 보여준다.

R_a 의 경우 깊은 스크래치의 존재에 따라, 스크래치의 분포에 따라 크게 영향을 받으나 마이크로 스크래치에 대해서는 그 변별력이 낮음을 Fig. 3 과 Fig. 4 를 통하여 확인할 수 있으며, R_z 역시도 유사한 결과를 나타내고 있으나, 마이크로 스크래치의 존재에 대해서도 일부 반영되고 있음을 확인할 수 있다.

또한, R_s 대비 R_z 가 약 9 배 이상의 수준으로 스크래치가 발생할 수 있는 불안 요소를 많이 보유하고 있음을 확인할 수 있다.

CSL, surface morphology, surface roughness 의 결과에서 표면의 불안정성이 내제되어 있음을 확인하였다. 그러나, 입자크기 이외의 많은 인자들이 이들에 영향을 미치기 때문에 입자크기에 대한 영향만으로 판단할 수 없다.

따라서, 본 논문에서는 표면의 안정성을 검토하기 위하여 skewness(R_{sk}), kurtosis(R_{ku}) 값에 대하여 검토하였으며, 중심과 외곽을 각각 측정하여 그 결과를 Fig. 5 에 나타내었다.

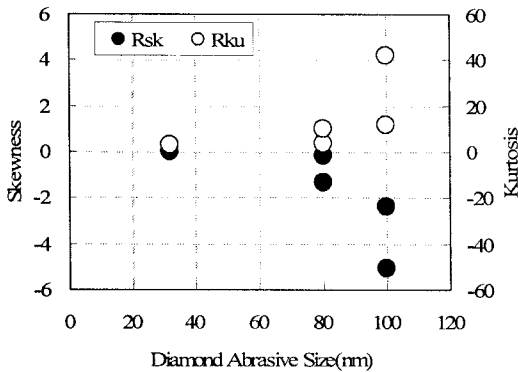


Fig. 5 Surface irregularity (skewness and kurtosis)

표면의 정규분포 즉, 표면의 균일성 정도를 나타내는 kurtosis 값은 3.0 을 기준으로 3.0 일 경우 표면은 정규분포 즉, 매우 안정적인 MP 공정이 진행되었음을 나타낸다. 또한, skewness 는 '0'을 기준으로 양(+)의 값은 돌출된 부분(waviness 악화 또는 표면 이물 발생)이 많을 경우, 음(-)의 경우 스크래치가 발생할 경우 그 절대값들이 커지게 된다.

입자크기가 증가할수록 MP 공정의 안정성은 낮아지며, 그 편차도 커짐을 Fig. 5 에서 확인할 수 있다. Skewness 와 kurtosis 역시도 스크래치와 관련성이 있으며 깊은 스크래치가 발생되는 100 nm에서 더욱 불안정 해지며, 산포가 커짐을 확인할 수 있다. 또한, 80 nm에서는 마이크로 스크래치가 발생하였음에도 불구하고 skewness 의 산포가 발생된 것은 CSL 결과에서 보여준 거대입자 함유량의 산포가 영향을 준 것으로 판단된다. 그리고 모든 skewness 가 음(-)으로 표면에 스크래치와 같은

valley 형 결함이 발생될 확률이 높으며, kurtosis 가 3.0 이상인 것으로 미루어 볼 때 일부 영역에 불규칙적인 표면 결함의 발생 즉, 스크래치의 발생 확률이 높을 것으로 판단된다.

30 nm 유성 슬러리에서는 skewness -0.01, kurtosis 3.03, 3.04 로 산포도 적으며 표면 안정성도 높아 스크래치가 발생할 확률이 낮을 것으로 판단된다.

스크래치는 우연발생에 의한 결함으로, 유성 슬러리 30 nm, 100 nm의 2 종류에 대하여 각각 18 매의 기판에 대하여 결과를 검증하였다. (Fig. 6)

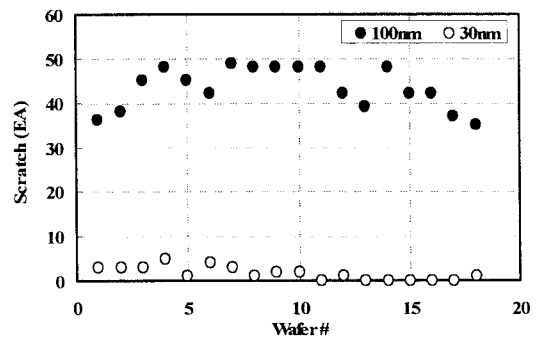


Fig. 6 Reproducibility of the polishing process using the abrasive size of 30nm and 100nm in oil-based solution

3. 가공결함(SSD)에 대한 결과

3.1 가공결함(SSD ; Sub-Surface Damage)

모든 wafering process 에서는 polishing 공정이 완료된 후 기판의 SSD 가 존재하지 않아야 한다.

본 논문에서는 스크래치와 SSD 간의 연관성을 확인하기 위하여 TEM 을 통하여 SSD 두께를 측정하였다. (Fig. 7)

TEM 결과를 보면 표면품질은 매우 향상이 되었으나, 재료 내부에는 SSD 는 여전히 존재하고 있음을 확인할 수 있다. SSD 의 두께는 약 50 nm 미만이며 연속적인 것이 아니고 불연속적으로 존재하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 MP 공정이 가진 한계로 육안 및 계측기를 통하여 관찰/분석되는 표면정보의 부적절성을 나타낸다.

MP 공정에서 스크래치를 감소시키기 위하여 현재 저속운전 조건을 적용하였음에도 불구하고

이러한 결과가 보이는 것은 결국 다이아몬드 입자가 GaN 기판에 잔류응력을 남기고 있으며 특히 거대입자에 의한 부분이 매우 큼을 알 수 있다.

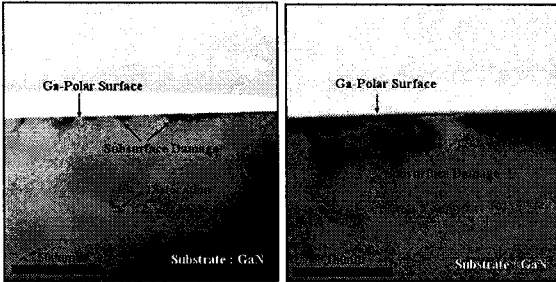


Fig. 7 Transmission Electron Micrographs of the sub-surface damage after polishing process using diamond abrasives of 30nm in size

3.2 PL(Photo-Luminescence)를 통한 표면분석

상기의 SSD 분석은 TEM 을 통한 분석으로 파괴검사에 해당된다. 따라서 시편준비 및 측정에 많은 시간과 노력이 필요하며, sample 의 넓은 부분을 확인할 수 없다는 단점이 있다.

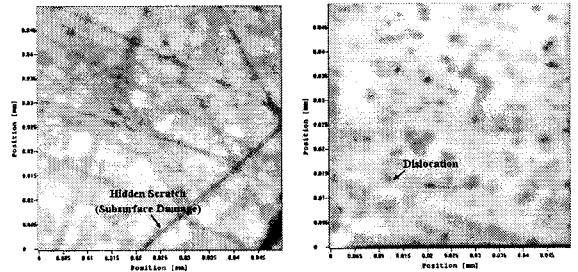
본 논문에서는 상기와 같은 파괴 방식이 아닌 PL(Photo-Luminescence)을 이용한 비파괴 방식으로 SSD 를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 8 에 나타내었다. PL 측정결과 MP 공정 이후 표면에서 SSD 에 해당되는 부분이 dark area(Line)로 관찰되고 있으며 (a), MP 공정 후 SSD 를 완전히 제거한 후의 표면 (b)에서 spot 의 형태로 보이는 부분은 GaN 기판의 결정결함(Dislocation)을 나타낸다.

앞서 TEM 결과에서 SSD 가 불연속적으로 분포하고 있음을 확인하였는데 이는 PL 의 결과에서 스크래치형상으로 SSD 가 존재하고 있기 때문으로 해석된다.

4. 결론

본 논문에서는 슬러리 내부의 거대입자함량을 나타내는 CSL 방법과 surface morphology 를 정량화한 surface roughness(Ra, Rz), skewness 와 kurtosis 가 스크래치와의 연관성이 있음을 확인하였다.

또한, GaN 기판의 MP 공정에서 다이아몬드 입자크기를 nano size 로 줄이고, 거대입자의 함유에 대한 문제점을 개선하기 위해, 점성 및 윤활특성을 향상시키는 목적으로 mineral oil 을 사용할 경우 스



(a) After MP Process (b) SSD Removed Surface
Fig. 8 Nondestructive measurement of SSD by Photo-Luminescence

크래치 free 의 표면을 확보할 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나, MP 공정은 거대입자가 개입될 경우 tin plate 의 탄성변형의 효과가 매우 낮아 재료의 하부에 그 에너지가 축적되고 이는 표면에 SSD 로 존재하게 되고 있음을 확인할 수 있었다.

따라서, MP 공정 이후에는 반드시 SSD 를 제거할 수 있는 표면처리 공정이 필요하게 된다. 이러한 사유로 표면 품질과 SSD 를 발생시키지 않는 polishing 방식인 CMP 공정의 개발이 요구되고 있다. 그러나, GaN CMP 공정은 낮은 RR(Removal Rate), 선택적 etching 에 따른 micro-pit 에 대한 문제점을 가지고 있으므로, 1~2 $\mu\text{m/hr}$ 이상의 RR 을 가지고 표면에 micro-pit 이 없는 CMP 공정의 개발이 요구 된다.

참고문헌

1. Perlin, P., Suski, T., Leszczynski, M., Prystawko, P., Swietlik, T., Marona, L., Wisniewski, P., Czernecki, R., Nowak, G., Weyher, J. L., Kamler, G., Borysiuk, J., Litwin-Staszewska, E., Dmowski, L., Piotrkowski, R., Franssen, G., Grzanka, S., Grzegory, I. and Porowski, S., "Properties of InGaN blue laser diodes grown on bulk GaN substrates," J. of Crystal Growth, Vol. 281, No. 1, pp. 107-114, 2005.
2. Kuroda, N., Sasaoka, C., Kimura, A., Usui, A. and Mochizuki, Y., "Precise control of pn-junction profiles for GaN-based LD structures using GaN substrates with low dislocation densities," J. of Crystal Growth, Vol. 189-190, pp. 551-555, 1998.
3. Cao, X. A. and Arthur, S. D., "High-power and

- reliable operation of vertical light-emitting diodes on bulk GaN,” Applied Physics Letters, Vol. 85, Issue 18, pp. 3971-3973, 2004.
4. Cao, X. A., Yan, C. H., D'Evelyn, M. P., LeBoeuf, S. F., Kretchmer, J. W., Klinger, R., Arthur, S. D. and Merfeld, D. W., “Homoepitaxially grown GaN-based light-emitting diodes with peak emission at 405nm,” J. of Crystal Growth, Vol. 269, No. 2-4, pp. 242-248, 2004.
 5. Zhuang, D. and Edgar, J. H., “Wet etching of GaN, AlN, and SiC : a review,” Materials Science and Engineering, Vol. 48, Issue 1, pp. 1-46, 2005.
 6. Tavernier, P. R., Margalith, T., Coldren, L. A., DenBaars, S. P. and Clarke, D. R., “Chemical Mechanical Polishing of Gallium Nitride,” Electrochemical and Solid-State Letters, Vol. 5, No. 8, pp. G61-G64, 2002.
 7. Kim, S. J., Ahn, Y. M., Baek, C. W. and Kim, Y. K., “Study on Chemical Mechanical Polishing for Reduction of Micro-Scratch,” KSPE, Vol. 19, No. 8, pp. 134-140, 2002.